

海馬・扁桃体・前頭前野の機能を統合した組み込み指向型脳型人工知能モデルの開発

著者	田中 悠一郎
発行年	2021-03-25
学位授与番号	17104甲生工第402号
URL	http://hdl.handle.net/10228/00008330

氏 名	田 中 悠一朗
学位の種類	博 士（工学）
学位記番号	生工博甲第402号
学位授与の日付	令和3年 3月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	海馬・扁桃体・前頭前野の機能を統合した組込み指向型 脳型人工知能モデルの開発
論文審査委員会	委員長 教 授 田 中 啓 文
	〃 森 江 隆
	准教授 田 向 権
	〃 香 取 勇 一

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、ヒトのように考える人工知能の実現を目指すため、個人の経験に基づいた知識の獲得、及び獲得した知識に基づいた予測や行動決定を行う海馬・扁桃体・前頭前野の機能を統合した人工知能モデルを提案している。このモデルを4種類のタスクによって評価し、それぞれを達成できることを示している。さらに扁桃体モデルはハードウェア化の手法が提案されており、ソフトウェアよりも高速に処理できることを示している。

本論文の構成は、以下の通りである。第一章では序論が述べられている。本論文の背景として、深層学習を中心とする現行の人工知能技術とヒトの知能の違い、ホームサービスロボットに求められる知能について述べられている。ヒトの学習は大きく分けて、膨大な経験から得られる一般的な知識の獲得と、数少ない経験から得られる個人特有の知識の獲得があるが、現行の人工知能技術は前者の機能のみを有しており、ヒトのように考える人工知能の実現のためには、後者の学習機能が必要である。ホームサービスロボットの実現のためには、その両方の機能が必要となるが、その計算システムはリアルタイムかつ省電力であることに加え、マルチタスクに対応できることが求められる。そこで、本論文では、脳の構造を模倣した人工知能モデルとマルチタスク学習に対応する手法を提案し、そのモデルをハードウェア化することによって上記の課題を解決することを目的としている。

第二章では関連研究が述べられている。本研究の応用先であるホームサービスロボットについてレビューした上で、それに搭載するニューロンモデル及びハードウェアアクセラレータはどのように実装するべきかを議論している。本研究は、人工ニューロンモデルを採用し、ハードウェアとして Field Programmable Gate Array を採用するアプローチを取っている。

第三章では個人の経験に基づいた知識の獲得として、扁桃体モデル及びそのハードウェア化の手法が提案されている。提案モデルは複数の自己組織化マップと全結合型のニューラルネットワークの組み合わせによって構成している。さらにハードウェア化のために大幅に回路リソースを削減するアルゴリズムを提案し、このアルゴリズムを用いて扁桃体モデル専用ハードウェアを設計している。実験結果より、提案モデルは数回のヒューマンロボットインタラクションを通じて、人の好みを学習するタスクを達成し、さらに提案ハードウェアは、ソフトウェアによる実装よりも高速であることを示している。

第四章では個人の経験に基づいた記憶の獲得、及び記憶に基づいた予測として、海馬・扁桃体・前頭前野の機能を統合した人工知能モデルが提案されている。海馬モデルは場所細胞モデルと時間細胞モデルによって構成され、前頭前野モデルはレザバコンピュテーティングによって実装されている。実験結果より、このモデルが他者の移動経路を予測するタスクと、自分の移動経路とその価値を予測するタスクを達成できることを示している。

第五章ではマルチタスク学習への適応として、マルチタスク学習のためのレザバコンピュテーティング及びその学習法について提案されている。実験結果より、このモデルは自分の経路を想起するタスクを破滅的忘却の回避をしながら達成できることを示している。

第六章では本研究をまとめている。本論文が達成した項目、議論、今後の展望が述べられている。本研究が発展していくことで、ホームサービスロボットが単なる家事をこなす機械ではなく、人間のパートナーとしての役割を担うようになることが期待されると結論づけている。

学位論文審査の結果の要旨

本論文に関し、論文審査委員から、個人の経験とは何か、二つの学習パラダイムとは具体的には何か、神経科学との対応はどの程度考えるべきなのかといった本研究のコンセプトに関する質問や、提案モデルの拡張性、ロボット搭載時の学習方法、学習速度などといったテクニカルな質問などが多数あったが、いずれも著者の明快な説明により質問者の理解が得られた。

公聴会は現地（発表者、および、学内審査委員のみ）と遠隔のハイブリッド形式にて開催した。遠隔開催が主であるため、公聴会の予告は、各種 WEB、メール、メーリングリスト、Facebook などを通して広く行い、発表は ZOOM および YouTube Live で公開した。その結果、学内外より合計 50 名の出席があった（YouTube のリアルタイム視聴者を含む）。

質疑では、脳にはもっとたくさんの領域があるが、人のパートナーとなるサービスロボットとして、どの領域を選んで実装するのか、本研究の結果より脳科学への提案があるか、サービスロボットにおいてエッジとクラウドの切り分けをどうしていくべきか、

FPGA を含む提案システムにおける性能評価の詳細，5 年後にこの分野がどうなっているか，などをはじめとする質問が多数あったが，いずれも著者の明快な説明により質問者の理解が得られた．

以上により，論文審査及び最終試験の結果に基づき，審査委員会において慎重に審査した結果，本論文が，博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した．